

DIE PLEK VAN NAVORSING OOR KOSMIESE STRALE IN DIE FISIKA*

Inleiding

Reeds sedert die vroeë veertiger jare word navorsing in die departement Fisika op die gebied van kosmiese strale gedoen. In hierdie voordrag sal gepoog word om aan te toon wat kosmiese strale is en wat die plek daarvan in 'n fisikadepartement is. Vanselfsprekend sal dit onmoontlik wees om in die bestek van een lesing die terrein volledig te verken. Die orde van behandeling is soos volg:

1. Die ontdekking van kosmiese strale.
2. Die samestelling en energieverdeling van die primêre strale.
3. Die wisselwerking tussen kosmiese strale en die atmosfeer.
4. Groot buie van kosmiese strale.
5. Die variasie van die intensiteit van kosmiese strale met plek en tyd van waarneming.
6. Herkoms van kosmiese strale.

1. Ontdekking

Aan die begin van hierdie eeu bevind fisici soos C. T. R. Wilson, Geitel en Elster met behulp van elektroscopes dat lug steeds elektries geleidend bly ten spyte van deeglike voorsorge. Hierdie geleiding het ooreengestem met die produksie van 10 ioonpare per sekonde in elke kubieke sentimeter van die lug. Afskerming met lood het hierdie ionisasie drasties laat afneem waardeur die „eksterne” aard van die oorsaak aangedui is.

Natuurlikerwyse is eers getrag om die verskynsel te verklaar in terme van bekende meganismes soos radio-aktiwiteit en termiese botsings, terwyl die hipotese van 'n onbekende, deurdringende straling te drasties vir oorweging was. Aanvanklike eksperimente het trouens ook verwarrende resultate gelewer en eers nadat Hess in 1912 en Kolhörster in 1914 in

* Inougurele rede gelewer by die aanvaarding van 'n professoraat in Fisika aan die P.U. vir C.H.O. deur prof. dr. J. F. de Beer.

ballonvlugte aangetoon het dat die ionisasie toeneem met hoogte in die atmosfeer, het die idee begin posvat van 'n deurdringende straling van „kosmiese” oorsprong. — Die son is reeds deur Kolhörster as bron uitgeskakel omdat die intensiteit nie noemenswaardig van dag tot nag verander het nie.

Die idee het verder posgevat dat die onbekende straling niks anders was nie as gammastrale met baie hoë energie, totdat Clay (1927) en Compton (1933) ontdek het dat die stralingsintensiteit op verskillende plekke op die aardbol verskillend is en Johnson en Street (1933) dat die stralingsintensiteit uit die weste groter is as uit die ooste. Uit hierdie ontdekkings kon afgelei word dat die straling 'n oormaat positief-gelaaide deeltjies bevat wat dan in die aarde se magneetveld afgewyk word om bogenoemde verskynsels te veroorsaak.

2. Samestelling en energieverdeling van die primêre strale

Die primêre straling is daardie deeltjies wat uit die interplanetêre- en interstellare ruimte op die aarde se atmosfeer inval. In 1950 het Freier e.a. met behulp van ballonvlugte op groot hoogtes bevind dat $\pm 90\%$ van die deeltjies protone is, 9% α -deeltjies en die res swaarder kerne. Na hierdie ontdekking volg 'n lang reeks eksperimente om die samestelling noukeurig te bepaal.

Die belangrikste probleem wat hier ondervind word is die opbreking wat plaasvind wanneer 'n swaar kern die atmosfeer binnedring. Op die hoogtes waarop ballonvlugte gedoen kan word, bly nog 1% van die atmosfeer bokant die ballon oor. Waarnemings moet dus steeds gekorrigeer word vir die moontlikheid van opbreking.

'n Ander komplikasie wat noukeurigheid beperk is die verskynsel dat sommige deeltjies ook terugbeweeg as gevolg van weerkaatsing in die aarde se magneetveld — die sogenaamde albedo-effek wat 'n korreksie van sowat 10% beteken.

Hoewel later hierop teruggekom word, is dit interessant om te meld dat die huidige aanvaarde chemiese samestelling van die primêre strale, naastenby ooreenstem met die gemiddelde relatiewe voorkoms van die elemente in die heelal.

Die bepaling van die energieverdeling van die primêre strale word bemoeilik deur die feit dat die energie van die

deeltjies by $\pm 10^9$ ev begin en strek tot ruim 10^{10} elektronvolt. In die heel laagste dekad van die spektrum word die aarde se magneetveld as 'n analiseerder gebruik, dit wil sê die verandering van intensiteit met plek op die aarde word gemeet en verwerk tot energiespektra. Tussen 10^{12} en 10^{15} ev word gebruik gemaak van fotografiese emulsies wat op hoogtes van sowat 20 myl aan ballonne sweef. Bokant 10^{15} elektronvolt, word kennis van die spektrum indirek verkry uit 'n studie van groot buie van kosmiese strale.

Die huidige beeld van die primêre, integrale energiespektrum is dat dit voorgestel kan word deur 'n magspektrum met 'n eksponent wat van ± 1.0 by 10^9 ev min of meer *gladweg* toeneem na 2.2 by 10^{15} ev.

Ten spyte daarvan dat fisici dit tans met mekaar redelik eens is oor die chemiese samestelling en energieverdeling van die primêre strale, is daar tog groot gapings in ons kennis wanneer dit by meer besonderhede kom. So bv. is die energieverdeling van die afsonderlike komponente nog nie voldoende noukeurig bepaal nie en bestaan daar ook aanduidings dat die energieverdeling nie gladweg verloop nie. Aangesien juis kennis van hierdie besonderhede so belangrik is vir die probleem van die herkoms van die kosmiese strale, is voortgesette, intensiewe navorsing oor hierdie aspek noodsaaklik.

3. Die wisselwerking tussen kosmiese strale en die atmosfeer

Wanneer 'n energieke proton van die kosmiese strale 'n kern in die atmosfeer tref, vind 'n kernreaksie plaas waaruit tipies 'n groot aantal sekondêre deeltjies tevoorskyn kom. In beginsel kan kernreaksies so bestudeer word maar aangesien kernversnellers in die energiebereik tot ± 30 Gev bestaan, is dit net die energiegebied bokant 100 Gev wat hier ter sprake kom.

Die belangrikste tegniese hulpmiddel wat in die verlede gebruik is om die kernreaksies van kosmiese strale te bestudeer, is die fotografiese emulsie waarin die spoortjies van gelaaide deeltjies gesien kan word. Verder is ook wolkkamers, ionisasiekamers en geigertelbuis gebruik.

Die volgende aspekte van kernreaksies is en word nog ondersoek:

(i) Die botsingswaarskynlikheid en die energieverlies van die invallende nukleon. Resultate dui daarop dat die invallende nukleon gemiddeld die helfte van sy energie verloor maar dat groot fluktuasies hierin voorkom. Die botsingswaarskynlikheid is min of meer geometries oor die hele energiebereik.

(ii) Die aantal sekondêre deeltjies of sogenaamde multiplisiteit. In hierdie verband is resultate nog uiters karig en oënskynlik onderling weersprekend. In die omgewing van 10 Gev is die multiplisiteit sowat 5 terwyl dit by 10⁴ Gev sowat 30 is. Die presiese wyse waarop die multiplisiteit met primêre energie of met energieverlies toeneem is nog grootliks onbekend. Resultate dui wel daarop dat die multiplisiteit stadig toeneem met energie maar dat groot fluktuasies voorkom. Laasgenoemde fluktuasies hang moontlik saam met die fluktuasies in energieverlies van die inkomende nukleon waarvan sopas melding gemaak is.

(iii) Die aard van die sekondêre deeltjies:

Vir die doeleindes van hierdie voordrag is dit voldoende om te stel dat daar twee groepe sekondêre deeltjies is nl. 'n stadige en 'n vinnige groep. Die teorie is dat die vinnige groep direk in die botsing veroorsaak word en vanweë die behoud van momentum, sterk na vore gerig is, terwyl die stadige groep verdampingsprodukte van die aangeslane skyfkern is. Die deeltjies van die stadige groep is reeds geïdentifiseer as protone, neutrone en alfadeeltjies met soms ook swaarder kernbrokstukke. Die aantal stadige deeltjies neem af namate die primêre energie toeneem, 'n verskynsel wat onder andere deur Roederer en McCusker (1953) sô verklaar is. Uit die transformasievergelykings volg dat namate die primêre energie toeneem, die sekondêre deeltjies in 'n steeds nouerwordende kegel gekonsentreer sal wees. Hierdie bundel deeltjies beweeg dus deur 'n al kleiner deel van die kern en ooreenkomstig word 'n steeds kleiner deel van die skyfkern aangeslaan. Die vinnige sekondêre deeltjies blaas as 't ware 'n tunnel deur die skyfkern.

Die vinnige groep deeltjies bestaan uit 'n groot verskeidenheid deeltjies wat moeilik identifiseerbaar is aangesien hulle almal relatiwisties is. Eksperimentele waarnemings dui daarop dat die grootste deel, $\pm 80\%$ van die vinnige groep pimesone is wat weer in gelyke positiewe, negatiewe en neutrale ladingsgroepe verdeel is. 'n Interessante waarneming is dat die per-

sentasie pi-mesone konstant bly oor 'n baie wye primêre energie-bereik.

Die orige 20% van die vinnige groep bestaan uit deeltjies soos nukleone, K-mesone en Λ -, Σ - en Ξ -hiperone. (Die ontdekking van die mesone en ook van die neutron en positron, is een van die belangrikste resultate van navorsing in kosmiese strale). Geeneen van die mesone is stabiel nie maar verval regstreeks of indirek na meer stabiele deeltjies.

(iv) Die energie- en hoekverdeling van die sekondêre deeltjies.

Dit bly nog steeds 'n baie moeilike probleem om die energie van die vinnige sekondêre deeltjies te bepaal. Een manier wat gebruik word, is om te soek vir kernreaksies wat deur die gelaaiide pi-mesone veroorsaak word. Uit die kinematika van dié sekondêre reaksie kan die π -meson se energie verkry word. 'n Ander manier is om te kyk na die vervalsprodukte van die neutrale pi-mesone. Lg. verval na 'n halfleeftyd van $\sim 10^{-8}$ sek in twee gammastrale wat op hulle beurt weer in elektron-protonpare verander in die veld van 'n kern. Indien die oorspronklike π^0 -meson se energie nie te hoog was nie, sal die hoek tussen die eerste elektron-positron-paar sy energie weerspieël maar as sy energie baie hoog is, sal hierdie hoek onmeetbaar klein wees. Dan word die π^0 -meson se energie afgelei uit die intensiteit van die kaskade wat dit veroorsaak. Hierdie kaskade ontstaan deurdat 'n energieke elektron in die omgewing van 'n kern weer 'n gammastraal kan uitstraal — 'n proses wat herinner aan die uitstraling van warmte by wrywing. Nadat die π^0 -meson dus in 2 γ -strale verval het, is daar 'n vermenigvuldiging van γ -strale en elektrone omdat hulle mekaar oor-en-weer kan genereer. Die kaskade bou op tot 'n maksimum intensiteit waar die energie van die π^0 -meson so 'n groot moontlike aantal elektrone en γ -strale verdeel is. Hierna sterf die kaskade weg deurdat die individuele deeltjies deur ander prosesse energie begin verloor. In die atmosfeer staan hierdie kaskade bekend as 'n bui.

Omdat dit dan so moeilik is om die energie van die kernreaksie se sekondêre deeltjie te bepaal, is dit nie vreemd nie dat die energieverdeling nog relatief swak bekend is.

Die hoekverdeling van die sekondêre deeltjies is relatief maklik om te meet en daaruit, tesame met die energieverdeling, kan die verdeling van transversale momenta afgelei word. Dit lei tot een van die mees betekenisvolle resultate nl. dat die

gemiddelde transversale momentum van die deeltjies onafhanklik is van die energie van die invallende nukleon.

Wat die hoekverdeling van die sekondêre deeltjies betref, is dit eenvoudiger om dit in die swaartepuntsisteem te beskou omdat die vorentoe- en agtertoerigting dan simmetries ten opsigte van mekaar is. 'n Prominente eienskap van die hoekverdeling is dan die relatief min deeltjies wat in die transversale rigting vrykom.

Kernreaksies by hierdie baie hoë energieë (minstens 2 ordes groter as die grootste versnellers in 1968) was steeds 'n uitdaging vir teoretici. So is daar die sg. enkel-bron-teorieë van Fermi, Heisenberg en Landau waarvolgens daar net na die botsing in 'n volume van die grootte van 'n nukleon 'n geweldige energiekonsentrasie is. Deur 'n proses analoog aan verdamping, „kook” dan deeltjies af. Die voorspelde hoekverdeling van die deeltjies hang af van die botsingsparameter, dit wil sê of die botsing trompop was of net skrams.

Die teorie wat in later jare baie populêr geword het, is die twee-bron-teorie of sogenaamde vuurbalteorie van Kraushaar, Marks, Cocconi, Ciok en andere. Hiervolgens is daar na die botsing twee konsentrasiepunte van energie (vuurballe) wat uitmekaar beweeg met 'n sekere snelheid en elk energie verloor deur mesone isotroop in sy eie verwysingsstelsel uit te straal. In trompop botsings voorspel hierdie teorie baie sekondêre deeltjies wat isotroop uitskiet terwyl in skrams botsings min deeltjies sal uitkom wat sterk na vore en agter gekolimeer sal wees.

Elkeen van die genoemde teorieë verklaar 'n bepaalde aspek van die kernreaksies maar 'n universele teorie wat alle aspekte sal verklaar, ontbreek nog. Die pogings om tot so 'n teorie te kom, word ook sterk gestrem deur die karigheid van eksperimentele resultate, 'n feit wat basies daaraan gewyt kan word dat reaksies by hierdie hoë energieë baie skaars is.

4. Groot buie

Hierdie onderwerp hoort eintlik ook tuis onder die vorige opskrif maar omdat dit so 'n gespesialiseerde navorsingsveld is, moet ons tog afsonderlik daaraan aandag gee.

Verreweg die grootste persentasie van kosmiese strale wat op die aarde waargeneem word, is in die vorm van enkel

deeltjies waarvan die aankomstyd statisties verspreid is, dit wil sê indien twee deeltjies min of meer gelyktydig waargeneem word, beteken dit nog nie dat daar enige verband tussen hulle bestaan nie.

In sterk kontras hiermee is die verskynsel wat tans bekend staan as groot buie van kosmiese strale. In hierdie geval is die energie van die primêre deeltjie groter as 10^{14} ev, dit wil sê baie hoog. In sy deurgang deur die atmosfeer maak so 'n deeltjie gemiddeld 12 botsings waarin hy telkens sowat die helfte van sy energie afstaan wat dan hoofsaaklik in die vorm van gelaaide en neutrale mesone vrykom. Ná verval van die π^0 -meson ontstaan 'n elektronfoton-kaskade waarin die oorspronklike hoë energie van die π^0 -meson verdeel word oor 'n groot aantal elektrone en γ -strale.

'n Deel van die gelaaide mesone maak ook kernreaksies waaruit ook weer π -mesone voortkom. Daar is dus ook 'n kaskade van kernreaksies. Dié deel van die gelaaide π -mesone wat nie reageer nie, verval na μ -mesone wat nie verdere kernreaksies maak nie en in die aarde indring waar hulle tot op groot dieptes waarneembaar is.

In 'n gebeurtenis van hierdie tipe vind daar dus 'n vermenigvuldiging van deeltjies plaas en kan in een so 'n bui maklik 'n miljoen deeltjies gelyktydig op die aarde aankom. Die deeltjies van 'n bui is tipies oor 'n afstand van 'n paar honderd meter versprei en wydverspreide apparatuur is nodig vir hulle waarneming.

Belangstelling op hierdie terrein word veral gestimuleer deur die vraag wat die hoogste moontlike energie is wat 'n primêre deel kan hê, — 'n vraag wat nou verband het met die herkoms van kosmiese strale. Origens bly hierdie nog die enigste weg om kennis te bekom van kernreaksies by sulke hoë energieë.

5. Die variasie van die intensiteit van kosmiese strale met plek en tyd van waarneming

Hierdie aspek van kosmiese strale hang nou saam met die vraagstuk van die herkoms van kosmiese strale waarop ons later terugkom.

a) *Die invloed van die aarde se magneetveld*

Die aarde se magneetveld laat aankomende deeltjies uit hulle oorspronklike rigtings afwyk en hoe laer die momentum per nukleon is, des te groter is die kans dat die deeltjie die aardoppervlak nooit sal bereik nie. In hierdie verband word gepraat van die afsnystyfheid in 'n bepaalde rigting wat 'n maatstaf is van die minimum momentum per nukleon wat nodig is om die waarnemingspunt uit daardie besondere rigting te bereik.

Baanbrekerswerk by die teoretiese studie van die onderwerp is deur Störmer gedoen. In sy heel eenvoudigste vorm word die aarde se magneetveld benader deur 'n magnetiese dipool by die middelpunt van die aarde — die sg. gesentreerde dipoolmodel. 'n Beter benadering word verkry indien dié dipool nie by die aarde se middelpunt geplaas word nie — die sg. eksentriese dipoolmodel. Selfs met hierdie model is daar minder goeie ooreenstemming tussen berekende en waargenome afsnystyfheide. In 1959 het Quenby en Webber aangetoon dat dié verskille baie kleiner word indien plaaslike anomalieë in die aarde se magneetveld in ag geneem word.

Die registrasie van die intensiteit van kosmiese strale by verskillende plekke op die aardoppervlak lewer nie net kennis van die energiespektrum van die primêre strale nie maar die volgehoue waarneming werp baie interessante lig op die variasie van die spektrum as 'n funksie van faktore soos die gesteldheid en posisie van die son.

'n Besondere aspek wat relatief onlangs na vore gekom het, is die vervorming van die aarde se magneetveld deur die plasmawind van die son.

Vervolgens word sekere verskynsels wat periodiek voorkom en wat die intensiteit van kosmiese strale beïnvloed, kortliks bespreek.

Omdat al hierdie variasies met die son korreleerbaar is, moet ons kortliks let op sekere eienskappe van die son. Die son bestaan hoofsaaklik uit waterstof en hy ontleen ook waarskynlik sy hoë temperatuur (10^7 °C) aan die termokernreaksies waarin die waterstof na Helium verander. Vanweë die hoë temperatuur, het baie deeltjies voldoende energie om na die interplanetêre ruimte te ontsnap. Op die oppervlakte van die son kom donker vlekke voor en hulle aantal en oppervlakte

verander met 'n periode van 11 jaar. Die son roteer om sy as met 'n gemiddelde periode van 27 dae. (Dit is interessant dat die son by sy ewenaar vinniger draai as by sy pole). Van tyd tot tyd vind reuse uitbarstings op die sonoppervlak plaas wat op die aarde gevolg word deur magnetiese storms, toename in intensiteit van kosmiese strale en ontwinging van kortgolf-radio-ontvangs. Van die aarde af gesien, het die son dus periodes van 24 uur, 27 dae en 11 jaar en met elkeen van hierdie variasies is 'n ooreenstemmende variasie in kosmiese strale waarneembaar. ('n Verdere periodisiteit van 22 jaar skyn aanwesig te wees in die fase van die daaglikse variasies).

(i) *Daaglikse variasie:*

In die muonkomponent het die variasie 'n amplitude van ± 0.2 persent met 'n maksimum om en by middag. Die posisie van die maksimum het egter verander van 11 vm. in 1934 tot 3 nm. in 1942 en geleidelik terug tot 11 vm. in 1953. Die daaglikse variasie is egter nie eenvoudig van aard nie aangesien Sarabhai e.a. (1955) aangetoon het dat daar gedurende sekere periodes twee maksima optree.

(ii) *Variasies met periode van 27 dae*

Die bestaan van 'n 27-daagse periode in die aktiwiteit van die magneetveld op die aarde, is lank reeds bekend en moet waarskynlik in verband gebring word met die rotasieperiode van die son. Feitlik in fase met hierdie variasie word ook 'n variasie in die intensiteit van kosmiese strale waargeneem. Van besondere belang is die waarneming van Simpson in 1954 dat die intensiteit van kosmiese strale 'n minimum bereik sowat 5 dae vóór die indeks van magnetiese aktiwiteit sy maksimum waarde bereik. Dié effek moet waarskynlik toegeskryf word aan die feit dat die stroom deeltjies uit die son eers die interplanetêre magneetveld en dus die intensiteit van kosmiese strale beïnvloed voordat hulle naby genoeg aan die aarde kom om magnetiese steurings te veroorsaak.

(iii) *Variasies met 'n periode van 11 jaar*

Hier is die variasies baie groter as in die vorige twee gevalle. So bv. verminder die intensiteit van neutrone met $\pm 20\%$ wanneer die sonvlekgetal groot is. Ten spyte van die groot amplitude van die effek, is die verklaring waarskynlik dieselfde as in die vorige geval.

b. *Nie-periodiese variasies*

Benewens voorgenoemde periodiese variasies, is daar ook twee soorte nie-periodiese variasies:

(i) In 1933 het Steinmaurer reeds ontdek dat daar 'n afname in kosmiese strale voorkom gedurende magnetiese storms. Hierdie storms is skielike afnames in die horisontale komponent van die aarde se magneetveld. In 1938 het Forbush aangetoon dat hierdie afnames wat tans sy naam dra, wêreldwyd plaasvind. Die presiese verklaring van die verskynsel is ingewikkeld, veral in die lig van die feit dat nie alle storms afnames in kosmiese strale veroorsaak nie en omgekeerd. Daar is ook nie 'n eenduidige verband tussen die intensiteit van 'n storm en die grootte van die *forbuschafname* nie, hoewel daar tog 'n statistiese korrelasie is.

(ii) *Uitbarstings op die son*

Gedurende die afgelope ± 20 jaar was daar 5 toenames in die intensiteit van kosmiese strale wat met sonuitbarstings gepaard gegaan het. Die grootste hiervan het plaasgevind op 23 Februarie 1956 toe Marsden gevind het dat die neutronintensiteit in Leeds (Engeland) met 'n faktor 45 in die bestek van 'n paar minute toegeneem het. Eers met verloop van 'n hele aantal ure het die intensiteit normaal geword. Uit die feit dat die effek naby die pole baie groter is as by die ewenaar is afgelei dat die energiespektrum van die addisionele deeltjies baie sagter is as dié van die normale kosmiese strale.

Variasies met stertyd

Geen standhoudende variasies met stertyd is waargeneem nie.

Variasies terug in geskiedenis van aarde

In 'n kernreaksie tussen 'n neutron van die kosmiese strale en die stikstof van die lug word koolstof-14 gevorm wat saam met die gewone koolstof-12 deur plante opgeneem word. As die plant doodgaan hou die opname op en begin die radio-aktiewe koolstof-14 verval. As die oorspronklike persentasie koolstof-14 bekend is, kan die ouderdom van die plant afgelei word of omgekeerd. Langs hierdie weg het Kulp en Volchok in 1953

bevind dat die intensiteit van kosmiese strale gedurende die afgelope 35,000 jaar waarskynlik met minder as 20% verander het. In 1952 het Singer voorgestel dat die intensiteit van kosmiese strale verder terug nagespeur kan word deur te kyk na die produksie van He-3 in meteoriete. Metings langs hierdie weg toon dat die intensiteit gedurende die afgelope 75 miljoen jaar waarskynlik nie veel anders was as tans nie.

6. Die herkoms van kosmiese strale

Die huidige peil van ons kennis aangaande die aard en eienskappe van die primêre straling, stel reeds hoë eise aan teorieë oor die herkoms van kosmiese strale. 'n Volledige teorie moet o.a. die volgende behels:

- (i) Die plek(ke) van herkoms in die heelal
- (ii) Die meganisme waarvolgens die deeltjies versnel word.
- (iii) Die geskiedenis van die deeltjies ná versnelling.

Voordat ons op sekere teorieë kan let, moet ons eers opsom wat ons van die heelal en in die besonder van ons sterrestelsel (of melkweg) weet. In eerste benadering kan die vorm van ons sterrestelsel beskryf word as 'n plat skyf met 'n straal van sowat 50,000 ligjaar en 'n dikte wat sowat 50 maal kleiner is. Die sowat 10^4 sterre van die melkweg sit hoofsaaklik in hierdie plat skyf. Een van hierdie sterre is die son.

Buite ons sterrestelsel is daar ook ander derglike sterrestelsels en die gemiddelde afstand tussen hulle is omtrent 10^5 ligjaar. Die grootte van die waarneembare deel van die heelal is sowat 10^{24} cm (of 10^{23} myl) en hierin is daar sowat 10^{11} sterrestelsels. Die gemiddelde digtheid van materie in die heelal is sowat 1 atoom per kubieke sentimeter.

Teorieë oor die herkoms kan gerieflik ingedeel word volgens die volgende moontlike bronne nl. die son, die melkweg of die heelal. Uit waarnemings tydens uitbarstings op die son, is dit bekend dat daar op die son 'n meganisme bestaan vir die versnelling van deeltjies tot 10^8 ev. Die probleem is egter dat 'n verklaring gevind moet word vir energieë tot 10^{10} elektronvolt. Nog 'n groter probleem ontstaan wanneer gepoog word om te verklaar waarom kosmiese strale isotroop is. Dit is wel bekend dat magneetvelde die straling isotroop sou kan maak maar met die swak interplanetêre magneetveld faal die proses totaal

vir deeltjies in die hoogste energiegebied. Alfvén (1954) stel egter voor dat die probleem vereenvoudig word indien ons aanneem dat dit nie atoomkerne is wat versnel word nie maar stofdeeltjies. Noukeurige berekeninge toon egter dat hierdie teorie benewens ander tekortkominge minstens nog 'n faktor 100 kortkom met betrekking tot die hoogste, isotrope energieë.

'n Meer aantreklike teorie skyn te wees dat die miljoene sterre van ons sterrestelsel net soos die son deeltjies uitskiet. Berekeninge toon dat daar uit hierdie bronne ook nie genoeg deeltjies beskikbaar sal wees om die interplanetêre ruimte te vul tot die waargenome digtheid nie tensy daar spesiale bronne bestaan wat op veel groter skaal deeltjies uitskiet. In hierdie verband kom die supernovae ter sprake. Hulle is sterre wat teen die einde van hulle ontwikkelingsproses onstabiel raak en ontplof, met die vrystelling van 'n ontsaglike hoeveelheid energie in die vorm van lig, warmte, radiogolwe en gelaai deeltjies. Een van die mees skouspelagtige van hierdie gebeurtenisse het in 1054 plaasgevind en is noukeurig deur Chinese waarnemers beskryf. Vir 23 dae na die ontploffing van dié ster was dit helder-oordag sigbaar en dit word bereken dat dit toe 350 miljoen keer helderder as die son was. Tans, na 900 jaar, is die warm gaswolk wat oorgebly het, nog steeds sigbaar en word sterk radioseine vandaar opgevang. Die radioseine word uitgestuur deur elektrone wat spiraalbane beskryf in 'n magneetveld — die sogenaamde sinchrotronstraling.

'n Meganisme vir die versnelling van deeltjies word ook aangedui deur die teorie van Fermi of moderne variante daarvan. Hiervolgens bestaan daar in ons sterrestelsel wolke van geïoniseerde gas met ingevange magneetvelde wat teen hoë snelhede in verskillende rigtings beweeg. Wanneer 'n gelaai deeltjie trompop met so 'n wolk bots, neem sy eie energie toe maar as hy met die wolk bots nadat hy hom ingehaal het, verloor hy energie. Dit kan egter aangetoon word dat daar 'n netto wins in energie sal plaasvind. Die proses is analoog aan die versnelling van 'n „koue” molekule wat in 'n warm gas geplaas word.

'n Probleem ontstaan tog nog want as hierdie fermi-meganisme oor die hele sterrestelsel moes plaasvind, sou swaar kerne nie versnel word nie vanweë hulle energieverlies deur ionisasie. Die Russiese fisikus, Ginzburg, oorkom hierdie probleem deur te postuleer dat kosmiese strale in supernovae

ontstaan en daar versnel word. In die guns van sy idee tel ook die feit dat die persentasie swaar elemente in supernovae groter is as in die res van die heelal en dus meer ooreenstem met die relatiewe hoeveelhede in kosmiese strale. Ginzburg stuit egter ook voor die probleem om ligte deeltjies met hoë energieë deur die lae magneetvelde in supernovae gevange te hou.

Miskien is nog die beste teorie, in beginsel altans, dié van Morrison waarvolgens die bronne van kosmiese strale inderdaad deur die hele kosmos versprei is. Volgens hom kom die deeltjies met die laagste energieë van die son. (Hiervoor is daar bewyse). Die deeltjies met energieë tussen 10^{10} en 10^{11} GeV kom uit die sterre van ons sterrestelsel terwyl dié in die gebied 10^{12} — 10^{14} elektronvolt ook uit die sterre van die melkweg kom maar ook uit supernovae. Dié deeltjies waarvan die energie hoër as 10^{16} eV is en wat tog nie in die melkweg se magneetveld gevange gehou kan word nie, moet dan uit ander sterrestelsels kom waar buitengewone bronne mag bestaan. 'n Vraag wat dadelik ontstaan is waarom die energiespektrum oor die hele bereik so 'n gladde verloop het. Die antwoord lê waarskynlik opgesluit in die relatiewe onakkuraatheid van eksperimentele resultate. Trouens, tekens van knakke in die energiespektrum is reeds berig.

Slot

Uit die voorgaande blyk dit dat navorsing op die gebied van kosmiese strale enersyds lei tot die mikrominiatuurwêreld van die atoomkern en andersyds tot die uitgestrektheid van die hemelruim. Die gelowige navorser kan nie anders nie as om onder die diepe besef te kom van die wonders van die skepping, en moet dan saam met die Psalmdigter in Psalm 104 sing:

„Hoe talryk is u werke, o Here!

U het hulle almal met wysheid gemaak.”